

PREMIERS RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE DES HARMONIQUES SUR LES RESEAUX BASSE-TENSION FRANCAIS

L. Berthet¹, D. Boudou², X. Mamo¹

EDF R&D¹, EDF GDF Services², France

RESUME

EDF s'est engagée depuis 15 ans dans une politique d'amélioration de la qualité de fourniture de l'électricité. Les niveaux de tension harmonique présents sur les réseaux basse tension constituent un paramètre essentiel de cette qualité. Il est en effet nécessaire de maintenir ces niveaux de perturbation en dessous des niveaux de compatibilité, afin que l'ensemble des équipements alimentés par les réseaux publics puissent fonctionner dans des conditions satisfaisantes.

Le nombre des charges non-linéaires augmente, ce qui induit un accroissement de la pollution harmonique sur les réseaux publics. D'autre part, nous avons déjà observé des niveaux élevés dans certains endroits, comme dans les stations de sports d'hiver. Aussi, les niveaux harmoniques risquent-ils de dépasser à l'avenir les seuils admissibles sur un nombre significatif de réseaux de distribution.

Pour évaluer les marges existantes entre niveaux de perturbation et niveaux de compatibilité, EDF a démarré en 2000 une campagne de mesures sur les réseaux BT français. Cette campagne de mesures est menée sur 20 réseaux publics BT, dont 16 sont des réseaux typiques et 4 des réseaux à forte pollution harmonique.

Une semaine de mesures en 2000, sur l'échantillon de 16 réseaux BT typiques, a mis en évidence, pour la tension harmonique de rang 5 :

- des niveaux compris entre 4 et 5 % pour environ 40 % des réseaux surveillés,
- un accroissement moyen d'environ 1 % en 10 ans.

Ces premiers résultats confirment la nécessité de limiter les émissions harmoniques afin de maîtriser les niveaux de perturbation sur les réseaux de distribution.

La présente campagne de mesures est en cours. Dans un premier temps, elle va se poursuivre pendant une année, afin de dresser un état des lieux des niveaux harmoniques sur les réseaux BT qui intègre les variations saisonnières. Elle devrait ensuite être prolongée pendant plusieurs années afin de suivre leur évolution.

Si les premiers résultats présentés ici sont confirmés à l'issue d'une année complète de mesures, on estime que la situation deviendra critique d'ici 10 ans sur les réseaux de distribution français. Dans ce cas, il sera nécessaire de mettre en œuvre des limites d'émissions plus sévères, pour les équipements et les installations, qui soient adaptées à leur impact prévisible sur les réseaux en 2010.

PREMIERS RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE DES HARMONIQUES SUR LES RESEAUX BASSE-TENSION FRANCAIS

L. Berthet¹, D. Boudou², X. Mamo¹

EDF R&D¹, EDF GDF Services², France

1- INTRODUCTION

EDF s'est engagée depuis 15 ans dans une politique d'amélioration de la qualité de fourniture de l'électricité. Cette politique a tout d'abord été axée sur les coupures longues et brèves et sur la tenue de la tension, ce qui a occasionné des investissements importants sur les réseaux MT et BT.

Parmi les autres paramètres de la qualité de fourniture, les niveaux harmoniques sont devenus un paramètre essentiel. En effet, ceux-ci augmentent du fait de la multiplication des charges non-linéaires. Or, il faut les maintenir en dessous des niveaux de compatibilité, afin que l'ensemble des équipements alimentés par les réseaux publics puissent fonctionner dans des conditions satisfaisantes. Pour évaluer la situation actuelle et son évolution, EDF a décidé de lancer une campagne de mesures des harmoniques sur les réseaux BT français.

Dans cet article, nous présentons successivement :

- les phénomènes physiques,
- le contexte normatif et réglementaire,
- les raisons et objectifs de la campagne de mesures,
- une description de la campagne de mesures,
- les premiers résultats obtenus,
- les perspectives.

2- DESCRIPTION DES PHENOMENES PHYSIQUES

2.1- Définition des harmoniques

Sur les réseaux électriques, la forme d'onde des tensions et des courants est souvent assez différente de la sinusoïde pure sortant des centrales de production. L'onde déformée est en fait constituée de la superposition d'une composante sinusoïdale à 50 Hz, dite fondamentale, et de composantes sinusoïdales à des fréquences multiples entières de 50 Hz, appelées harmoniques.

2.2- Les sources d'harmoniques

Les harmoniques sont générés par les charges non-linéaires. Alimentées par la tension du réseau, elles injectent des courants harmoniques sur ce réseau. Des perturbations importantes peuvent être produites, de façon localisée, par de fortes charges déformantes, raccordées souvent en MT ou en HT. De telles perturbations peuvent aussi être générées, de façon diffuse, par l'effet cumulatif d'une multitude de charges de faible puissance raccordées sur les réseaux BT : téléviseurs, micro-ordinateurs, moteurs à vitesse variable...

2.3- Propagation des harmoniques

En règle générale, sur un réseau de distribution, les courants harmoniques se propagent en direction des niveaux de tension supérieurs, de la BT vers la HT. En passant dans les diverses impédances du réseau, ils créent des tensions harmoniques qui se superposent à la tension fondamentale de celui-ci.

Afin de décrire de façon simple ces phénomènes de propagation, nous nous appuyons sur le schéma simplifié de la figure 1, qui néglige les impédances de lignes.

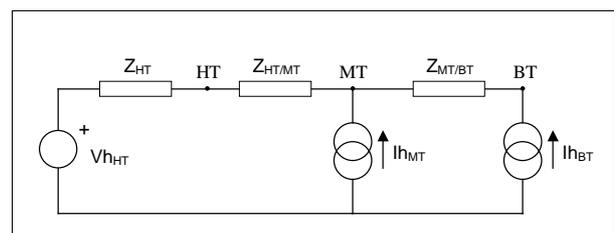


Figure 1 – Schéma équivalent simplifié d'un réseau d'alimentation électrique

Sur ce schéma, le courant $I_{h_{BT}}$ représente la perturbation harmonique générée par l'ensemble des charges raccordées sur un réseau BT. Il est dû à la somme vectorielle des courants harmoniques émis par chacune des charges, et prend en compte l'influence de la charge BT. De même, le courant $I_{h_{MT}}$ représente la perturbation harmonique générée par l'ensemble des charges alimentées par un transformateur HT/MT. $I_{h_{MT}}$ est dû à la somme vectorielle des courants harmoniques émis par chacune des charges raccordées au réseau MT ou à un

réseau BT alimenté par celui-ci. Il tient compte aussi de l'atténuation apportée par les charges et du phénomène de résonance éventuel dû aux batteries de condensateurs installées au poste source pour compenser l'énergie réactive. Enfin, la tension V_{hHT} représente la pollution harmonique transmise par le réseau HT au réseau de distribution.

D'après la figure 1, la tension harmonique vue en un point d'un réseau BT est alors la résultante :

- de la chute de tension due à la circulation du courant I_{hBT} dans l'impédance $Z_{MT/BT}$ du transformateur alimentant le réseau BT,
- de la chute de tension due à la circulation du courant I_{hMT} dans l'impédance $Z_{HT/MT}$ du transformateur alimentant le réseau MT et dans l'impédance Z_{HT} du réseau HT en amont,
- de la tension générée par le réseau HT.

Il faut aussi y ajouter les chutes de tension dues à la circulation des courants harmoniques dans les lignes, qui ne peuvent pas être négligées sur les réseaux BT.

Il est intéressant de remarquer ici que les charges raccordées sur l'ensemble des réseaux BT ont un effet sur les niveaux harmoniques présents sur un réseau BT donné, non seulement du fait des chutes de tension dans les impédances du réseau BT considéré, mais aussi du fait des chutes de tension dans les impédances du réseau MT et du réseau HT. Compte tenu des valeurs relatives des impédances de réseaux MT et BT, les chutes de tension harmoniques générées par les charges BT dans les impédances du réseau MT sont souvent prépondérantes devant celles générées dans les impédances du réseau BT. Elles ne peuvent donc pas être négligées.

2.4- Les effets des harmoniques

Les tensions harmoniques peuvent provoquer des dysfonctionnements de certains matériels. C'est en particulier le cas du claquage de condensateurs destinés à compenser l'énergie réactive, lors de phénomènes de résonance.

La circulation des courants harmoniques induit des échauffements supplémentaires dans les composants du réseau, accroissant leur vieillissement. Ceci peut amener une surcharge du conducteur de neutre BT, principalement lorsque le réseau alimente du tertiaire. Ces courants peuvent aussi conduire à surdimensionner certains matériels, comme les transformateurs et les câbles.

3- CONTEXTE NORMATIF ET REGLEMENTAIRE

3.1- Le produit Electricité

La norme européenne EN 50160 définit le produit électricité en décrivant le niveau de qualité minimal de la tension fournie par le distributeur à ses clients sur les réseaux BT et MT. Dans le cas des harmoniques, le réseau de distribution ne fait que transmettre des perturbations qu'il n'a pas créées. Néanmoins, l'électricité étant définie comme un produit, le distributeur pourrait être tenu pour responsable de niveaux harmoniques trop élevés et des dommages occasionnés par ceux-ci chez un client. Il convient donc de respecter les niveaux de compatibilité harmoniques et de donner les moyens nécessaires au distributeur pour faire face à ce type de pollution.

3.2- Les limites d'émission

Pour pouvoir respecter les niveaux de compatibilité harmoniques, il est nécessaire de limiter les émissions des équipements ou des installations raccordés aux réseaux publics. La situation est aujourd'hui la suivante pour les réseaux français.

La norme EN 61000-3-2 définit des limites d'émission pour les équipements de moins de 16 A raccordés aux réseaux publics BT. L'application de cette norme est obligatoire depuis le 01-01-2001 dans le cadre de la directive CEM. Pour les équipements de plus de 16 A, des limites d'émission sont définies dans le rapport technique CEI 61000-3-4, mais son application n'est pas obligatoire. Enfin, il n'existe pas de limites d'émission pour les installations raccordées aux réseaux BT.

Pour les réseaux publics MT ou HT, le rapport technique CEI 61000-3-6 ne définit pas de limites d'émission, mais donne une démarche générale qui peut servir de base au distributeur pour élaborer des règles de raccordement pour les charges déformantes de grande puissance. D'autre part, le contrat Emeraude, qui définit les relations contractuelles entre EDF et un client MT ou HT, comporte une annexe relative à la qualité de fourniture. Cette annexe donne, à titre indicatif, des limites d'émission harmoniques pour les installations raccordées aux réseaux MT ou HT.

4- RAISONS ET OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Le nombre des charges non-linéaires augmente, notamment avec le développement de l'électronique dans les équipements grand public et de la vitesse variable dans l'industrie. Ceci induit un accroissement de la pollution harmonique sur les réseaux publics. D'autre part, nous avons déjà observé des niveaux élevés dans

certains endroits, comme dans les stations de sports d'hiver.

Pour le distributeur, le risque est donc que les niveaux admissibles définis dans la norme EN 50160 soient dépassés à l'avenir sur un nombre significatif de réseaux.

Afin de pouvoir anticiper et mettre en œuvre les solutions les mieux adaptées à ce problème, EDF évalue actuellement le risque encouru. Pour cela, EDF a démarré en 2000 une campagne de mesures sur les réseaux publics BT. Dans un premier temps, celle-ci durera une année afin de dresser un état des lieux de la pollution harmonique existante. Elle devrait ensuite être poursuivie pendant plusieurs années pour suivre son évolution.

5- DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

5.1- Choix des emplacements de mesure

La campagne de mesures est menée sur 20 réseaux BT publics répartis entre 4 Centres de distribution :

- 5 réseaux dans la région de Chambéry (sud-est de la France),
- 5 réseaux dans la région de Toulouse (sud-ouest de la France),
- 5 réseaux dans la région de Nantes (ouest de la France),
- 5 réseaux dans la région de Lille (nord de la France).

Parmi ces 20 réseaux BT, nous avons choisi 16 réseaux typiques et 4 réseaux à forte pollution harmonique.

Les 16 réseaux typiques ont pour objet de fournir l'état des lieux des niveaux harmoniques présents sur les réseaux BT français. Pour ces réseaux, le seul critère de choix a été que chaque réseau n'alimente qu'un seul type de clients : résidentiel, petit industriel ou tertiaire. Ensuite, pour chaque type de clientèle, le choix des réseaux BT a pratiquement été fait au hasard. La répartition de ces 16 réseaux typiques est la suivante :

- 5 réseaux BT alimentant du résidentiel,
- 4 réseaux BT alimentant du petit industriel,
- 7 réseaux BT alimentant du tertiaire, dont 4 alimentant des bureaux et 3 des zones commerciales.

Les 4 réseaux à forte pollution harmonique ont pour objet de connaître les niveaux harmoniques pouvant être atteints dans un environnement défavorable. Pour ces réseaux, le choix a été fait à partir des plaintes de la clientèle.

5.2- Les grandeurs mesurées

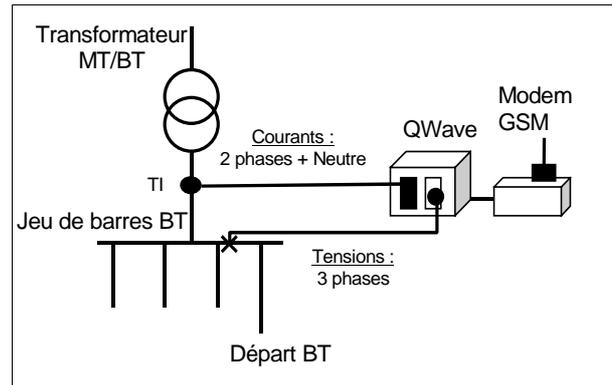


Figure 2 - raccordement de l'appareil de mesure

L'appareil de mesure utilisé est le QWave de LEM. Ces appareils ont été installés à l'intérieur des postes MT/BT alimentant les réseaux BT surveillés (voir Figure 2). Les niveaux harmoniques mesurés dans ces postes sont donc plus faibles, en général, que les niveaux observés chez les clients.

Compte tenu du nombre de voies disponibles, l'appareil de mesure observe les trois tensions simples, deux courants de phase et le courant de neutre. Il mesure les grandeurs harmoniques efficaces au moyen d'une FFT sur une fenêtre de 200 ms, puis il calcule les valeurs moyennes de ces grandeurs sur des intervalles consécutifs de 10 minutes. Du fait de la grande quantité de données mesurées, nous avons décidé de nous concentrer sur les premiers rangs harmoniques. Aussi, pour chacune des grandeurs observées, nous n'enregistrons que les valeurs moyennes sur 10 minutes de la composante fondamentale, des harmoniques de rang 3, 5, 7, 9, 11 et 13, et du taux de distortion global.

6- LES PREMIERS RESULTATS OBTENUS

6.1- Les résultats présentés

Ce paragraphe présente les premiers résultats obtenus pendant une semaine de mesures sur l'échantillon de 16 réseaux BT typiques. Du fait du calendrier d'installation des appareils de mesure, les résultats ont été obtenus :

- fin juin - début juillet pour les 12 premiers réseaux,
- en septembre pour les 4 derniers réseaux.

Afin de mieux expliquer les résultats obtenus, nous considérons d'abord un seul réseau BT, puis l'échantillon complet.

6.2- Résultats obtenus sur un réseau BT typique

Les valeurs moyennes sur 10 minutes ont été enregistrées pour chacune des grandeurs mesurées. La figure 3 donne un exemple des résultats obtenus sur une semaine pour la tension harmonique de rang 5.

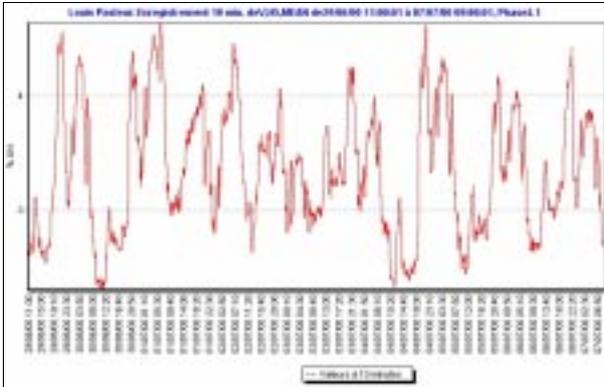


Figure 3 – Tension harmonique de rang 5 pendant une semaine : valeurs moyennes sur 10 minutes

A partir de ces valeurs moyennes sur 10 minutes, nous obtenons la répartition statistique des grandeurs mesurées. Ainsi, pour l'exemple pris à la figure 3, la figure 4 donne la répartition des valeurs prises par la tension harmonique de rang 5 pendant une semaine.

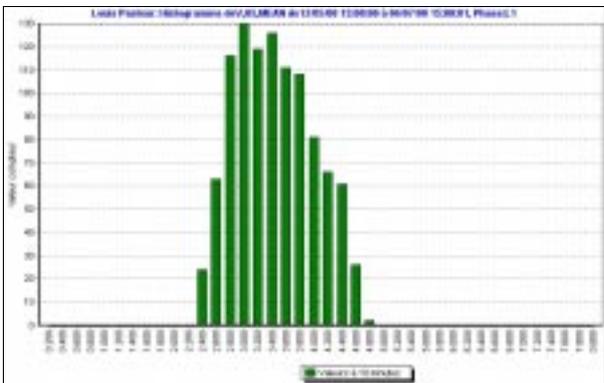


Figure 4 – Tension harmonique de rang 5 pendant une semaine : histogramme

Il est alors facile de calculer, pour chacune des grandeurs mesurées, les valeurs non dépassées pendant 50 % et 95 % du temps, ainsi que la valeur maximale. Pour l'exemple précédent, nous obtenons ainsi :

- 3,4 % pour la valeur à 50 %,
- 4,4 % pour la valeur à 95 %,
- 4,8 % pour la valeur maximale.

6.3- Résultats obtenus sur l'ensemble des réseaux BT typiques

En analysant les données obtenues sur chacun des réseaux typiques BT de la façon décrite précédemment, nous obtenons la répartition des niveaux harmoniques sur l'ensemble de ces réseaux. Ainsi, les figures 5 et 6 donnent la répartition des valeurs à 50 %, à 95 % et maximales, pour les rangs harmoniques 5 et 7, sur l'ensemble des réseaux typiques BT français considérés.

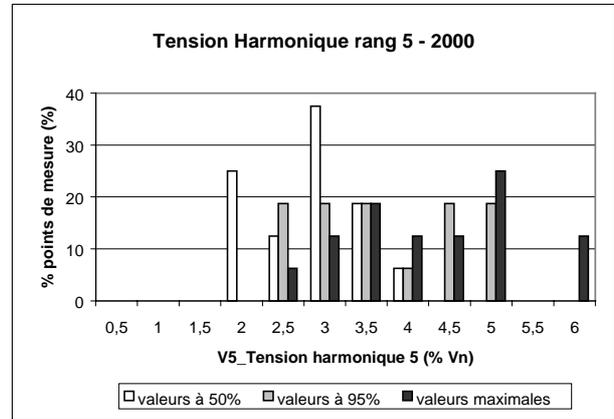


Figure 5 – Niveaux de tension harmonique de rang 5 sur les réseaux BT français en 2000

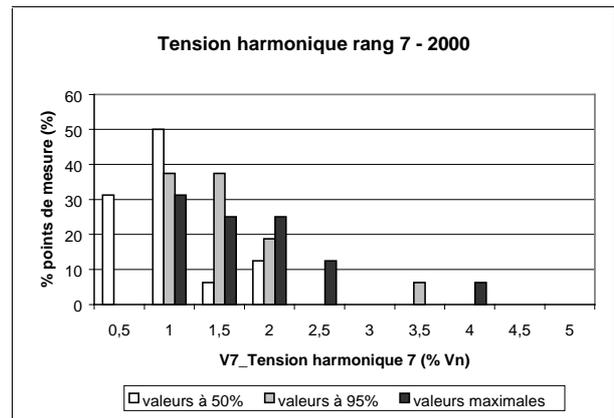


Figure 6 – Niveaux de tension harmonique de rang 7 sur les réseaux BT français en 2000

Pour évaluer les niveaux harmoniques obtenus, nous devons comparer les valeurs à 95 % avec les niveaux limite donnés par la norme EN 50160 : 6 % pour le rang 5 et 5 % pour le rang 7.

Pour la tension harmonique de rang 5, nous remarquons que le niveau harmonique à 95 % est compris entre :

- 2 – 3 % pour 6 réseaux typiques BT,
- 3 – 4 % pour 4 réseaux typiques BT,
- 4 – 5 % pour 6 réseaux typiques BT.

Comme les mesures ont été faites à l'intérieur des postes MT/BT, les niveaux harmoniques sont généralement plus élevés chez les clients. Les niveaux mesurés sont donc élevés pour environ 40 % de l'échantillon de réseaux BT considéré.

Pour la tension harmonique de rang 7, la situation actuelle paraît moins grave.

6.4- Comparaison avec les résultats obtenus en 1991

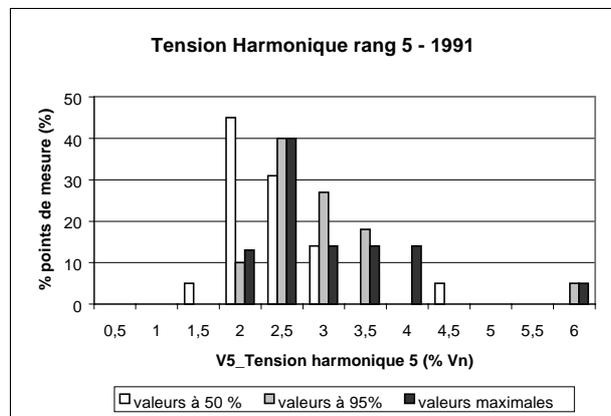


Figure 7 – Niveaux de tension harmonique de rang 5 sur les réseaux BT français en 1991

En 1991, EDF a déjà mené une campagne de mesures pendant une semaine sur 20 réseaux publics BT (1). Ces réseaux BT étaient situés dans la région de Paris et alimentaient principalement de la clientèle résidentielle. La figure 7 donne les résultats obtenus pour la tension harmonique de rang 5.

Si nous comparons les résultats obtenus en 1991 avec ceux obtenus en 2000 pour la tension harmonique de rang 5, nous remarquons que la moyenne des valeurs à 95 % était comprise entre 2,5 et 3 % en 1991, et qu'elle est comprise entre 3,5 et 4 % en 2000. Nous en déduisons donc un accroissement moyen d'environ 1 % en 10 ans sur les réseaux BT français.

Il convient bien sûr de rester prudent quant à ce résultat, car les deux échantillons utilisés sont petits et différents. Aussi, cette augmentation doit plutôt être considérée comme une tendance générale. Néanmoins cet accroissement de 1 % en dix ans est en cohérence avec les résultats obtenus en Grande Bretagne et aux USA.

7- PERSPECTIVES

Pour obtenir un état des lieux des niveaux harmoniques présents sur les réseaux BT qui intègre les variations saisonnières, les mesures seront menées pendant une durée minimale d'une année. Elles devraient ensuite être poursuivies pendant plusieurs années afin de suivre leur évolution.

Si les premiers résultats sont confirmés à l'issue d'une année complète de mesures, alors la situation deviendra

critique d'ici 10 ans sur les réseaux de distribution français.

Personne n'était capable, il y a 20 ans, de prédire l'ampleur des phénomènes observés aujourd'hui. Les réseaux de distribution, dont la durée de vie est de l'ordre de 40 ans, n'ont pas été conçus pour cela. A partir des résultats obtenus, EDF va donc essayer d'évaluer toutes les conséquences, techniques et financières, de cette situation. En particulier, EDF va aussi mener des études sur la modélisation de la pollution harmonique sur les réseaux de distribution, avant d'examiner les solutions à mettre en œuvre. Ces solutions passeront principalement par la limitation des harmoniques émis par les équipements et les installations, ces limites devant être adaptées à l'impact prévisible des charges polluantes sur les réseaux.

8- CONCLUSION

EDF mène une campagne de mesures pour évaluer les niveaux harmoniques présents sur les réseaux publics BT. Pour la tension harmonique de rang 5, les premières mesures effectuées pendant une semaine sur un échantillon de 16 réseaux typiques BT ont mis en évidence :

- des niveaux compris entre 4 et 5 % pour environ 40 % des réseaux surveillés,
- un accroissement moyen d'environ 1 % en 10 ans.

Ces premiers résultats confortent donc la nécessité de limiter les émissions harmoniques afin de maîtriser les niveaux de perturbation sur les réseaux. De plus, si ces résultats sont confirmés à l'issue d'une année complète de mesures, la situation deviendra critique d'ici 10 ans sur les réseaux de distribution français. Dans ce cas, il sera nécessaire de mettre en œuvre des limites d'émissions plus sévères, pour les équipements et les installations, qui soient adaptées à leur impact prévisible sur les réseaux en 2010.

REFERENCES

1. Deflandre T, Courty S, Greiveldinger C et Javerzac JL, 1995, Impact des harmoniques sur les réseaux publics français - état des lieux, études en cours, tendances futures, CIREU'95, 2.15.1-2.15.7
2. Rioual P et Deflandre T, 1995, Impact sur le réseau de distribution et de transport de l'injection des courants harmoniques, issus des redresseurs à charge capacitive, dans la clientèle tertiaire, domestique et industrielle, EPE'95

